

# САМОЛЕТОВОЖДЕНИЕ

## ВОЗДУШНАЯ СКОРОСТЬ ПОЛЕТА.

### Устройства и применение указателей воздушной скорости

#### Аэродинамический метод измерения воздушной скорости

**Воздушной скоростью полета** называется скорость перемещения самолета относительно воздушной среды. При этом различают истинную воздушную скорость и приборную скорость. Истинная воздушная скорость используется экипажем в целях самолетовождения, а приборная скорость используется летчиком для пилотирования самолета. Показания указателя воздушной скорости принято называть приборной скоростью.

В самолетовождении считают, что вектор воздушной скорости совпадает с продольной осью самолета и лежит в горизонтальной плоскости. Такое допущение существенно не влияет на точность решения навигационных задач. Приборы, предназначенные для измерения воздушной скорости полета, называются указателями скорости.

Наиболее распространенным методом измерения воздушной скорости полета является аэродинамический, основанный на замере давления встречного потока воздуха - скоростного напора. Величина скоростного напора определяется скоростью движения тела и плотностью воздуха:

$$q = \rho_n \frac{V^2}{2},$$

где  $q$  - скоростной напор;

$\rho_n$  - массовая плотность воздуха;

$V$  - воздушная скорость.

$$V = \sqrt{\frac{2q}{\rho_n}}.$$

Отсюда воздушная скорость

Выразим массовую плотность  $\rho_n$  через значения статического давления воздуха  $P_n = P_{ст}$ , абсолютной температуры воздуха на высоте полета  $T_n$ , газовой постоянной  $R$  и ускорения силы тяжести  $g$ :

$$\rho_n = \frac{P_n}{gRT_n}.$$

Тогда

$$V \approx \sqrt{\frac{2q}{P_{ст}} gRT_n}$$

Таким образом, при малых скоростях полета для определения истинной воздушной скорости необходимо измерять динамическое давление, статическое давление и температуру воздуха на высоте полета. При переходе к истинным скоростям, превышающим **400 км/ч**, необходимо учитывать сжимаемость воздуха. Поэтому тарировка современных указателей скорости производится по более сложным формулам.

### Приемники воздушных давлений

Указатели скорости посредством трубопроводов соединяются с приемниками воздушного давления **ПВД**. В настоящее время применяются два типа **ПВД**: совмещенный и с отдельными системами замера давлений.

**Совмещенный приемник воздушных давлений** (Рис. 1) состоит из двух камер: динамической и статической. Динамическая камера состоит из собственно камеры 1 и латунной динамической трубки 2, имеющей в своей приемной части впаянное доньшко 3 с боковым пазом для поступления воздуха. Доньшко динамической трубки предохраняет ее от засорения. Динамическая трубка проходит вдоль всего приемника и заканчивается штуцером 4.

## САМОЛЕТОВОЖДЕНИЕ

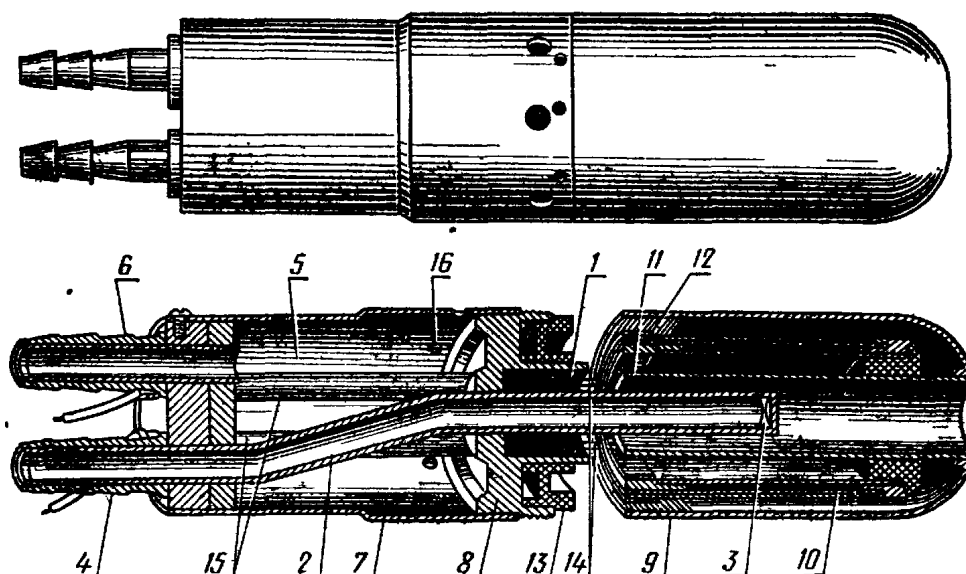


Рис. 1. Приемник воздушных давлений.

1-динамическая камера, 2-динамическая трубка; 3-доньшико; 4-штуцер динамический, 5-статическая камера, 6-штуцер статический, 7-кожух, 8-втулка, 9-наконечник, 10-элемент обогрева, 11, 12-контактные кольца, 13-изоляционная втулка, 14-электропровода, 15-латунные трубки, 16-отверстия

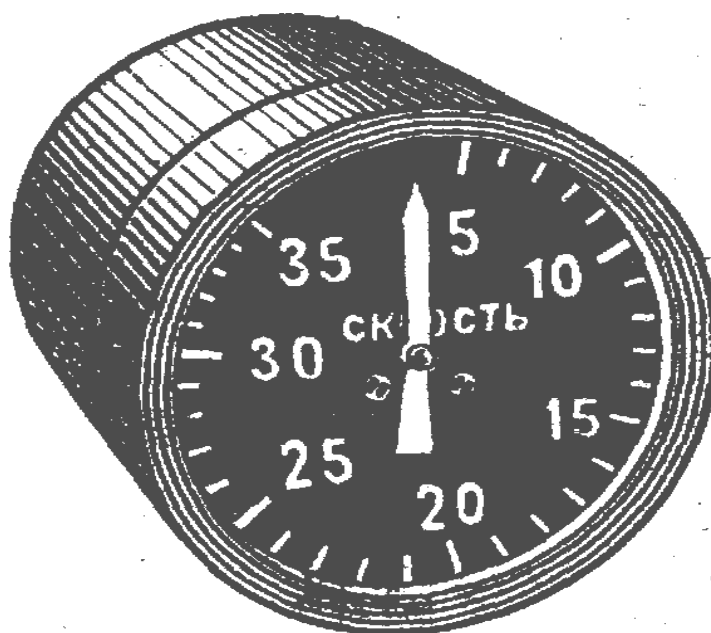


Рис. 2. Общий вид указателя воздушной скорости УС-350

Статическая камера 5 отделена от динамической камеры перегородкой и имеет восемь расположенных, по окружности отверстий 16, посредством которых она сообщается с атмосферой. Штуцер 6 служит для соединения статической камеры со статическим штуцером корпуса указателя скорости. В кожухе 7 и во втулке 8 имеются три отверстия для отвода влаги из динамической камеры 1. Кожух и его наконечник 9, навинчивающийся на втулку 8, снаружи покрыты никелем.

Приемник снабжен электрообогревателем, предохраняющим его от обледенения. Электрообогреватель состоит из элемента обогрева 10, двух контактных колец 11 и 12, вставленных в изоляционную втулку 13, и двух электропроводов 14, расположенных в латунных трубках 15.

Второй тип приемника имеет отдельные системы замера полного и статического давления. Статическое давление подается через отверстие в борту фюзеляжа.

### Устройство указателей воздушной скорости

В настоящее время применяются указатели скорости двух типов: указатели приборной скорости УС и комбинированные указатели скорости КУС. Первые устанавливаются на самолетах, вертолетах и планерах с небольшой скоростью полета, вторые - на скоростных самолетах.

## САМОЛЕТОВОЖДЕНИЕ

Общий вид указателя приборной скорости УС-350 изображен на Рис. 2, а схема его механизма - на Рис. 3. Чувствительным элементом указателя является манометрическая коробка 1. Она представляет собой две гофрированные мембраны, изготовленные из фосфористой бронзы и спаянные между собой по краям

К нижней стороне манометрической коробки припаян жесткий центр 2. Жесткий центр служит для крепления коробки к основанию механизма и для присоединения трубопровода 3, по которому поступает полное давление воздуха во внутреннюю полость чувствительного элемента. Второй конец трубопровода 3 припаян к штуцеру 4, укрепленному на задней стенке корпуса прибора. Штуцер 4 называется динамическим и обозначается буквами «Дн». К нему присоединяется трубопровод, идущий от штуцера динамической трубки приемника воздушных давлений.

К верхнему жесткому центру коробки припаяна стойка 5, к которой шарнирно прикреплена тяга 6 передаточного механизма. Второй конец тяги шарнирно соединен с рычагом 7 валика сектора. С противоположной стороны валика укреплен противовес 9, предназначенный для статической балансировки механизма. На оси валика 8 укреплен сектор 10, сцепленный с трибкой 11. Ось трибки находится в центре прибора, и на нее насажена стрелка. На оси трибки укреплена спиральная пружина 12, служащая для устранения люфтов и затираний в механизме. Механизм прибора не имеет температурной компенсации, так как температурная погрешность прибора практического значения не имеет.

Шкала прибора оттарирована в диапазоне скоростей от 50 до 350 км/ч. Цена деления 10 км/ч; деления оцифрованы через каждые 50 км/ч.

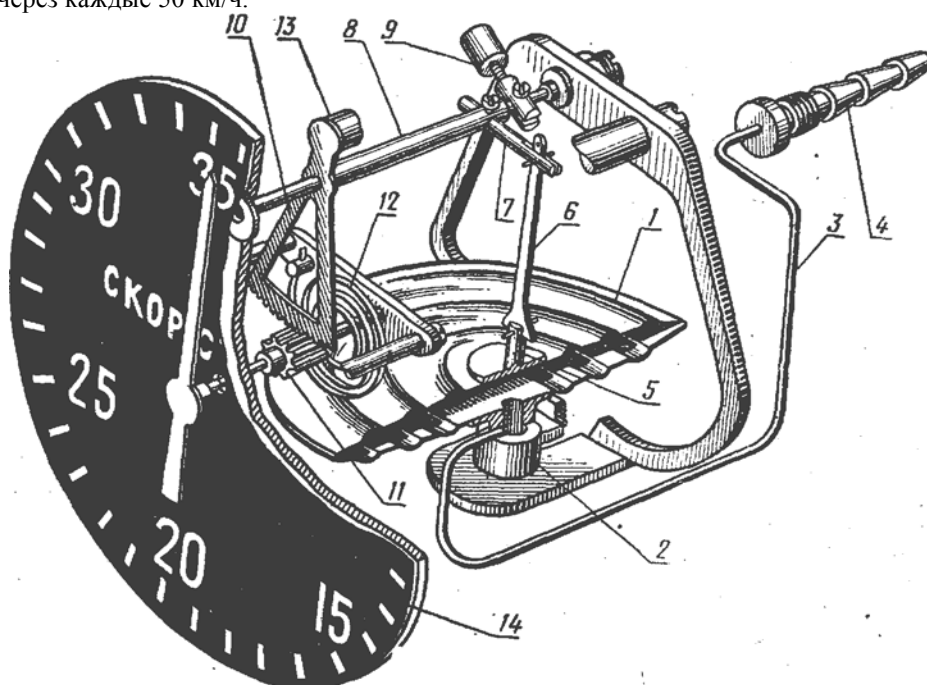


Рис. 3 Схема механизма указателя воздушной скорости типа УС-350:

1 - манометрическая коробка; 2 - жесткий центр; 3 - трубопровод; 4 - штуцер; 5 - стойка; 6 - тяга; 7 - рычаг; 8 - валик сектора; 9 - противовес; 10 - сектор; 11 - трибка; 12 - спиральная пружина; 13 - противовес сектора; 14 - шкала

Корпус прибора герметичный, изготовлен из алюминиевого сплава или пластмассы. С лицевой стороны корпус закрыт стеклом. На задней стенке имеется статический штуцер, обозначенный буквами «Ст». К нему присоединяется трубопровод, идущий от штуцера статической камеры приемника воздушного давления.

### Расчет воздушной скорости полета Ошибки указателей воздушной скорости

**Инструментальные ошибки  $\Delta V_{инстр}$**  объясняются несовершенством изготовления механизма указателя скорости, износом деталей и изменением упругих свойств чувствительных элементов. Они определяются в лабораторных условиях. По результатам такой проверки составляются графики и таблицы инструментальных поправок, которыми пользуется экипаж в полете.

**Аэродинамические ошибки  $\Delta V_a$**  указателей воздушной скорости обусловлены погрешностью измерения статического давления воздуха на высоте полета. Характер и величина этих ошибок зависят от типа самолета, места установки приемника воздушного давления и скорости полета. **Ошибки  $\Delta V_a$**  определяются на заводе при выпуске самолета и заносятся в специальный график или таблицу поправок. На некоторых самолетах составляется таблица суммарных поправок, учитывающая инструментальные и аэродинамические ошибки.

## САМОЛЕТОВОЖДЕНИЕ

**Методические ошибки** возникают в результате несоответствия условий, принятых в расчете приборов, фактическому состоянию атмосферы. Скоростной напор является функцией плотности воздуха  $\rho$  и воздушной скорости полета  $V$ . Следовательно, прибор будет давать точные показания только при одном значении массовой плотности воздуха, на которое он рассчитан. При тарировке шкалы указателя скорости массовая плотность воздуха берется равной  $0,125 \text{ кг м}^3$ . Такая плотность соответствует атмосферному давлению  $P=760 \text{ мм рт. ст.}$  и температуре воздуха  $t_0=+15^\circ \text{ C}$ . В действительности фактическая плотность воздуха очень редко совпадает с расчетной. При подъеме на высоту массовая плотность воздуха уменьшается, вследствие чего указатель скорости показывает скорость меньше истинной.

Ошибку указателя скорости  $\Delta V_M$ , возникающую от изменения плотности воздуха, определяют при помощи навигационной линейки по температуре наружного воздуха и высоте полета, от значения которых зависит плотность воздуха.

При скорости полета примерно  $350 \text{ км/ч}$  воздух впереди самолета сжимается, его плотность и, следовательно, скоростной напор увеличиваются. На малых высотах ошибка вследствие сжимаемости воздуха  $\Delta V_{сж}$  незначительна, но с увеличением высоты и скорости полета она заметно возрастает. Поправка на изменение сжимаемости воздуха определяется с помощью графика (Рис. 4) или по специальной шкале навигационного расчетчика. При расчете истинной скорости эта поправка всегда вычитается, а при расчете приборной скорости - прибавляется.

Методические ошибки приводят к значительному расхождению приборной и истинной скорости, особенно при полетах на больших высотах и скоростях. На скоростных и высотных самолетах применяются двухстрелочные комбинированные указатели скорости (КУС), так как они имеют два чувствительных элемента: манометрическую коробку для замера скоростного напора и блок анероидных коробок для замера статического давления воздуха на высоте полета.

Однако КУС не имеет чувствительного элемента для замера фактической температуры воздуха на высоте полета. Температура в приборе учитывается по стандартной атмосфере при тарировке шкалы. Величина методической погрешности КУС зависит от величины отклонения температуры наружного воздуха на высоте полета от стандартной.

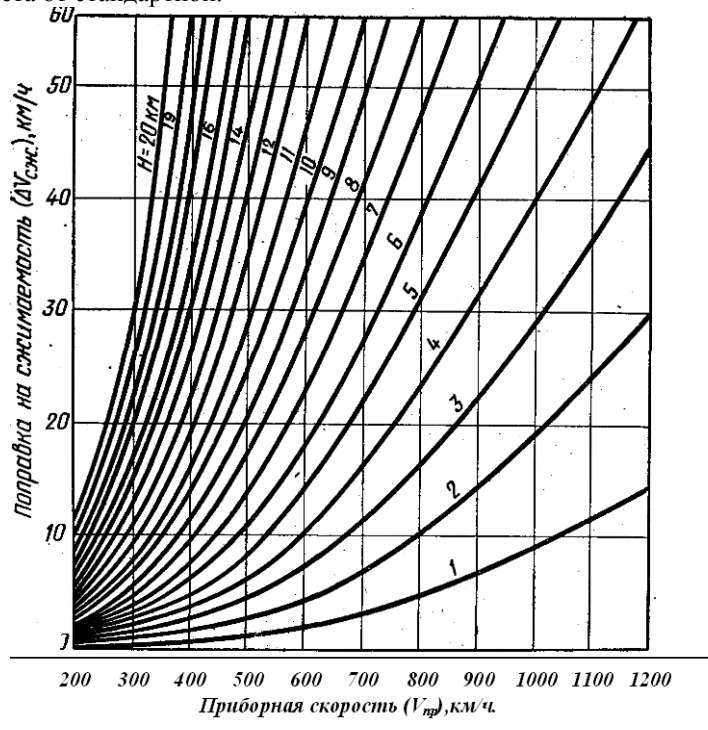


Рис. 4. График поправок на изменение сжимаемости воздуха.

### Расчет истинной воздушной скорости по показанию однострелочного указателя скорости

Расчет производится по формуле:  $V_{ист} = V_{пр} + \Delta V_{инстр} + \Delta V_M$

где  $V_{пр}$  - приборная воздушная скорость;

$\Delta V_{инстр}$  - инструментальная поправка указателя воздушной скорости;

$\Delta V_M$  - методическая поправка указателя воздушной скорости на изменение плотности воздуха.

## САМОЛЕТОВОЖДЕНИЕ

**Пример.** Показание указателя воздушной скорости  $220 \text{ км/ч}$ ; высота полета  $2700 \text{ м}$ ; температура воздуха на высоте полета  $t_n = -10^\circ \text{ C}$ ; инструментальная поправка  $\Delta V_{инстр} = +6 \text{ км/ч}$ . Определить истинную воздушную скорость.

**Решение:** 1. В показание воздушной скорости по прибору вносим инструментальную поправку со своим знаком:  $V_{пр} + \Delta V_{инстр} = 220 + 6 = 226 \text{ км/ч}$ .

2. Затем на шкале линейки НЛ-10М. «Температура на высоте для скорости» находим деление, равное температуре воздуха на высоте полета  $t_n = -10^\circ$ , и устанавливаем его против высоты полета  $2700 \text{ м}$  на шкале «Высота по прибору (км)». После этого на шкале линейки «Высота и скорость по прибору» находим деление, соответствующее воздушной скорости по прибору с учетом инструментальной поправки ( $226 \text{ км/ч}$ ), и против этого деления на шкале «Исправленные высота и скорость» определяем скорость  $V_{ист} = 255 \text{ км/ч}$ .

### Расчет приборной воздушной скорости для однострелочного указателя скорости

Приборная воздушная скорость рассчитывается по формуле:  $V_{пр} = V_{ист} - \Delta V_M - \Delta V_{инстр}$ .

**Пример.** Заданная истинная воздушная скорость  $200 \text{ км/ч}$ ; высота полета  $3000 \text{ м}$ ; температура воздуха на высоте полета  $t_n = -20^\circ \text{ C}$ ; инструментальная поправка указателя скорости  $\Delta V_{инстр} = +5 \text{ км/ч}$ . Определить показание указателя воздушной скорости для полета с заданной истинной воздушной скоростью.

**Решение.** 1. Учитываем по линейке НЛ-10М методическую поправку на изменение плотности воздуха. Для этого температуру воздуха на высоте полета, взятую по шкале 11 (см. рис. ??), необходимо подвести против высоты полета по шкале 12. Затем против истинной воздушной скорости, взятой по шкале 14, прочтеть по шкале 15 исправленную скорость, которая равна в данном случае  $178 \text{ км/ч}$ .

2. Учитываем инструментальную поправку и определяем  $V_{пр}$ .

$$V_{пр} = V_{пр. испр} - \Delta V_{инстр} = 178 - (+5) = 173 \text{ км/ч}.$$

### Расчет истинной воздушной скорости по показанию широкой стрелки КУС

Расчет производится по формуле:

$$V_{ист} = V_{пр} + \Delta V_{инстр} + \Delta V_a - \Delta V_{сж} + \Delta V_M,$$

где  $V_{пр}$  - показание широкой стрелки;

$\Delta V_a$  - аэродинамическая поправка указателя скорости;

$\Delta V_{сж}$  - Поправка на изменение сжимаемости воздуха с высотой.

**Пример.** Приборная скорость полета на высоте  $7800 \text{ м}$  равна  $V_{пр} = 450 \text{ км/ч}$ ; фактическая температура наружного воздуха  $t_n = -40^\circ$ ; инструментальная поправка  $\Delta V_{инстр} = +5 \text{ км/ч}$ ; аэродинамическая поправка  $\Delta V_a = -8 \text{ км/ч}$ . Определить истинную скорость.

**Решение.** 1. Учитываем инструментальную и аэродинамическую поправки:

$$V_{пр. испр} = V_{пр} + \Delta V_{инстр} + \Delta V_a = 450 + 5 + (-8) = 447 \text{ км/ч}.$$

2. Из графика (см. Рис. 4) находим поправку на изменение сжимаемости  $\Delta V_{сж} = 13 \text{ км/ч}$  и учитываем ее:

$$V_{пр. испр} - \Delta V_{сж} = 447 - 13 = 434 \text{ км/ч}.$$

3. Учитываем с помощью НЛ-10М методическую поправку на изменение плотности воздуха и определяем истинную скорость:  $V_{ист} = 650 \text{ км/ч}$ .

### Расчет истинной воздушной скорости по показаниям узкой стрелки КУС

Расчет производится по формуле:

$$V_{ист} = V_{кус} + \Delta V_{инстр} + \Delta V_a + \Delta V_{темп},$$

где  $V_{кус}$  - показания узкой стрелки КУС;

$\Delta V_{темп}$  - температурная поправка.

**Пример.** Показание узкой стрелки  $V_{кус} = 820 \text{ км/ч}$ ;

высота полета  $9000 \text{ м}$ ; температура наружного воздуха, определенная по прибору типа ТНВ,  $t_{пр} = -35^\circ$ ; инструментальная поправка  $\Delta V_{инстр} = -8 \text{ км/ч}$ ,  $\Delta V_a = +10 \text{ км/ч}$ . Определить истинную воздушную скорость.

**Решение.** 1. Учитываем инструментальную и аэродинамическую поправки:

$$V_{кус} + \Delta V_{инстр} + \Delta V_a = 820 + (-8) + (+10) = 822 \text{ км/ч}.$$

2. По шкале поправок навигационного расчетчика НРК-2 находим  $\Delta t = 20^\circ$ .

Тогда фактическая температура наружного воздуха будет равна

$$t_n = t_{пр} - \Delta t = -35^\circ - 20^\circ = -55^\circ.$$

## САМОЛЕТОВОЖДЕНИЕ

3. Учитываем с помощью НЛ-10М методическую температурную поправку и определяем истинную скорость  $V_{ист} = 800$  км/ч.

### Измерение температуры на высоте полета

В настоящее время для измерения температуры наружного воздуха применяют *электрические термометры сопротивления*.

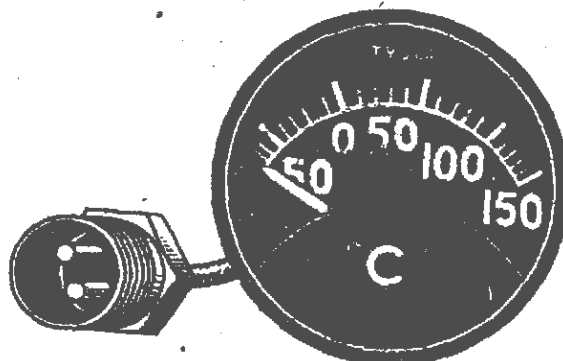


Рис. 5 Внешний вид термометра

Принцип действия такого термометра основан на измерении сопротивления проводника, зависящего от окружающей температуры.

На самолетах (вертолетах) устанавливаются термометры наружного воздуха ТУЭ-48 и ТНВ-15.

Шкала поправок для ТУЭ-48 нанесена на навигационной линейке НЛ-10М и навигационном расчетчике НРК-2. Шкала поправок для ТНВ-15 нанесена на навигационном расчетчике. При сравнении шкал поправок термометров ТУЭ-48 и ТНВ-15 видно, что для истинных скоростей полета до 800-900 км/ч шкалы имеют малое различие. При полете на околозвуковых и сверхзвуковых скоростях разница в поправках к термометрам ТУЭ-48 и ТНВ-15 значительна, поэтому необходимо пользоваться только соответствующими шкалами поправок. При расчете фактической температуры поправку надо всегда вычитать.

### Определение $V_{ист}$ по показаниям $V_{пр КУС}$

Температура окружающего воздуха является основным фактором для определения  $V_{ист}$

Зависимость  $V_{ист}$  от температуры окружающего воздуха является точно такой же, как и при определении  $V_{истпр}$ .

$5^\circ \Delta t = 1\% V_{пр.кус}$

**Пример.** Определить  $V_{ист}$ , если  $t\phi = +20^\circ$ ,  $V_{прКУС} = 500$  км/ч.

**Решение:**  $\Delta t = +20 - 15 = +5^\circ$ , следовательно  $V_{ист} = 505$  км/ч.